

الحمد لله
الذي هدانا لهذا
الذي كنا لنهتدي لولا
أن هدانا الله

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه
گاوزنگ - زنجان



مطالعه پوسته در شمال شرق ایران با استفاده از تابع گیرنده P

پایان نامه کارشناسی ارشد

محمد امرائی

استاد راهنما: دکتر سیدخلیل متقی

خرداد ۱۳۹۳

الهی!

تو ما را ضعیف خواندی!

از ضعیف چه آید جز خطا؟

و ما را جاہل خواندی!

و از جاہل چه آید جز حقا؟

و تو خداوندی کریم و لطیف!

از کریم و لطیف چه سزود؟

جز از کرم و وفا، و بخشیدن عطا.

این بضاعت ناخیز پیشکش به:

همسر صبورم و پدر و مادر فداکارم

و

پژوهشگران جوان جامعه علوم زمین

باشد که با همت والای خویش سیمای روشن تری از زمین شناسی ایران زمین آشکار شود.

تقدیرنامه

این نوشتار و حراست آنچه در زندگی پر فراز و نشیبم آموخته‌ام، مرهون لطف پروردگار متان و حیات‌های پدر و مادر فداکارم می‌دانم. از همسر مهربانم که با صبر و سکینایی در اتمام این کار مشوق من بوده اند تشکر و قدردانی ویژه خویش را تقدیس می‌دارم.

بر خود لازم می‌دانم به مصداق آیه شریفه «من لم یسکر المخلوق لم یسکر الخالق» از زحمات صادقانه و بی‌دریغ استاد محترم آقای دکتر مستقی تشکر و قدردانی نمایم. زحمات خاضعانه ایشان سهم بزرگی در تهیه و تدوین این پایان‌نامه داشته است.

همچنین از اساتید محترم دانشکده علوم زمین دکتر فرهاد شوتی، دکتر عبدالرضا قدس، دکتر اسماعیل شبانیان، دکتر محمد عباسی، دکتر ممتاز رضائیان، دکتر مسعود ساعت‌ساز، دکتر مهتاب افلاکی، دکتر مریم هنرمند و دکتر ایمان مصنف که در کنار آن‌ها به آموختن ژرف‌فیزیک و زمین‌شناسی پرداختم، تشکر و قدردانی می‌نمایم.

از کلیه دوستان عزیزم در بخش علوم زمین که مهربانانه دست‌مرا در انجام این کار فشرده ممنون و سپاسگزارم.

در پایان از اساتید محترمی که زحمات داوری این پایان‌نامه را متقبل شده‌اند صمیمانه تشکر می‌نمایم.

چکیده

در شمال خاور ایران زمین، پهنه‌های ساختاری - رسوبی کپه‌داغ و بینالود - الله‌داغ، در فصل مشترک دو ابرقاره اوراسیا و عربی واقع شده‌اند و از لحاظ لرزه‌خیزی فعال و شناخته شده هستند. هدف، شناخت ساختار پوسته در این پهنه‌ها، به منظور تعیین عمق پی‌سنگ، عمق مرز موهو و نسبت موج فشارشی به موج برشی (نسبت Vp/Vs) است. در مطالعات ژئوفیزیکی، عمق مرز موهو و نسبت Vp/Vs از پارامترهای مهم برای بررسی ساختار پوسته هستند، به طوری که این پارامترها ارتباط نزدیکی با زمین‌شناسی و زمین‌ساخت هر منطقه دارند. در این مطالعه، محاسبه پارامترهای مذکور با استفاده از روش تابع گیرنده شعاعی P صورت گرفته است.

شکل موج امواج حجمی دورلرز نگاشته شده توسط ایستگاه‌های سه‌مؤلفه‌ای، در برگرفته مشخصات چشمه زمین-لرزه، مسیر عبور موج در گوشته و ویژگی‌های ساختار پوسته زیر ایستگاه ثبت‌کننده نگاشت هستند، از این نگاشت‌ها می‌توان برای استخراج توابع گیرنده و مطالعه ساختار پوسته در زیر یک ایستگاه استفاده نمود. مبنای روش تابع گیرنده شعاعی P آن است که قسمتی از جبهه موج فشارشی (موج P) دورلرزها، در ناپیوستگی‌های سرعتی قابل توجه در زیر ایستگاه به موج برشی (موج SV)، تبدیل می‌شود (فاز Ps). این فاز در هر ایستگاه به دنبال موج P مستقیم، دریافت می‌شود. دامنه، زمان رسید و قطبش فاز تبدیل‌یافته Ps ، به ساختار سرعتی موج برشی در زیر ایستگاه بستگی دارد. با مطالعه این فازها ضخامت و سرعت متوسط پوسته در زیر ایستگاه را بدست آورد.

شبکه‌های لرزه‌نگاری مورد استفاده در این پژوهش دو شبکه لرزه‌نگاری مشهد و قوچان وابسته به مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران (۹ ایستگاه)، شبکه لرزه‌نگاری خراسان وابسته به مرکز تحقیقات دانشگاه فردوسی مشهد (۲ ایستگاه) و ایستگاه مراوه‌تپه وابسته به پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله است. این داده‌ها مربوط به سال‌های ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۲ میلادی می‌باشند که با بزرگای $M_b \geq 5/5$ و فاصله رومرکزی $25 < \Delta < 95$ درجه مورد پردازش قرار گرفته‌اند. نتایج بدست آمده از روش‌های ژو - کاناموری (۲۰۰۰) و ژو (۲۰۰۰) نشان‌دهنده نسبت‌های مختلف Vp/Vs و تفاوت در عمق موهو در پهنه‌های یاد شده است. حدود تغییرات عمق متوسط موهو بین ۴۳ تا ۴۹ کیلومتر و نسبت Vp/Vs بین ۱/۷۰ تا ۲/۰۲ در شمال خاور ایران زمین برآورد شده است. نتایج این پژوهش، وجود یک ساختار پوسته پیچیده را در ناحیه برخوردی شمال خاوری ایران زمین تأیید می‌کنند.

منابع داده

داده‌های مورد استفاده در این بررسی، شامل شکل موج دورلرهای ثبت شده در شبکه‌های لرزه‌نگاری مشهد و قوچان وابسته به مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران از سال‌های ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۲، ایستگاه مراوه-تپه وابسته به پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله از سال‌های ۲۰۰۴ تا ۲۰۰۸ و نیز ایستگاه‌های قوچان و بجنورد وابسته به دانشگاه فردوسی مشهد از سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۰۸ هستند.

فهرست مندرجات

۱	..... مقدمه
۴	..... فصل اول: زمین‌شناسی شمال خاور ایران
۴	..... ۱.۱ مقدمه
۷	..... ۲.۱ کلیات زمین‌شناسی پهنه کپه‌داغ
۷	..... ۱.۲.۱ مقدمه
۸	..... ۲.۲.۱ موقعیت زمین‌شناسی کپه‌داغ
۹	..... ۳.۲.۱ تکتونیک فعال کپه‌داغ
۱۰	..... ۱.۳.۲.۱ سامانه گسله‌ای بخاردن - قوچان
۱۱	..... ۱.۱.۳.۲.۱ گسله قوچان
۱۲	..... ۲.۱.۳.۲.۱ گسله باغان
۱۲	..... ۴.۲.۱ مروری بر مطالعات انجام گرفته در کپه‌داغ
۱۸	..... ۳.۱ کلیات زمین‌شناسی پهنه‌های بینالود - البرز خاوری (الله‌داغ)
۱۸	..... ۱.۳.۱ مقدمه
۱۹	..... ۲.۳.۱ تکتونیک فعال بینالود
۲۰	..... ۳.۳.۱ مروری بر مطالعات انجام گرفته در بینالود
۲۲	..... فصل دوم: درآمدی بر تابع گیرنده شعاعی P
۲۲	..... ۱.۲ تابع گیرنده شعاعی P چیست؟
۲۴	..... ۲.۲ مراحل محاسبه تابع گیرنده شعاعی P
۲۴	..... ۲.۲.۲ حذف پاسخ (اثر) دستگاهی
۲۴	..... ۳.۲.۲ چرخش دستگاه مختصات
۲۵	..... ۴.۲.۲ واهمامیخت (دیکانولوشن)

۲۵	..... ۱.۴.۲.۲ واهمامیخت در حوزه فرکانس
۲۹	..... ۲.۴.۲.۲ واهمامیخت در حوزه زمان یا روش تکراری
۲۹	..... ۳.۴.۲.۲ مقایسه دو روش مختلف واهمامیخت در حوزه فرکانس و زمان
۳۱	..... ۴.۴.۲.۲ تصحیح نقطه تبدیلی مشترک
۳۲	..... ۳.۲ مباحثی درباره تابع گیرنده شعاعی P
۳۲	..... ۱.۳.۲ روابط زمان - عمق
۳۵	..... ۲.۳.۲ پوشش مکانی تابع گیرنده P (محدوده نمونه برداری)
۳۶	..... ۳.۳.۲ تعیین متوسط عمق موهو و نسبت Vp/Vs
۳۷	..... ۱.۳.۳.۲ الگوریتم برانبارش ژو - کاناموری
۴۰	..... ۴.۳.۲ مهاجرت به عمق توابع گیرنده P
۴۲	..... فصل سوم: داده‌ها و نتایج بدست آمده
۴۲	..... ۱.۳ داده‌های مورد استفاده
۴۵	..... ۲.۳ توابع گیرنده P محاسبه شده برای هر یک از ایستگاه‌ها و نتایج آن‌ها
۴۵	..... ۱.۲.۳ ایستگاه EMG (امامقلی)
۴۹	..... ۲.۲.۳ ایستگاه KRD (کارده)
۵۳	..... ۳.۲.۳ ایستگاه MOG (مغان)
۵۷	..... ۴.۲.۳ ایستگاه MRVT (مراوه‌تپه)
۶۱	..... ۵.۲.۳ ایستگاه MYA (میامی)
۶۶	..... ۶.۲.۳ ایستگاه SFR (اسفراین)
۷۰	..... ۷.۲.۳ ایستگاه SHV (شیروان)
۷۴	..... ۸.۲.۳ ایستگاه SRO (مشهد)
۷۸	..... ۹.۲.۳ ایستگاه AKL (اخلمد)
۸۲	..... ۱۰.۲.۳ ایستگاه PAY (پایه)
۸۶	..... ۱۱.۲.۳ ایستگاه QU (قوچان)
۹۰	..... ۱۲.۲.۳ ایستگاه BJ (بجنورد)
۹۲	..... فصل چهارم: تفسیر زمین‌شناسی نتایج
۹۲	..... ۱.۴ تفسیر نتایج نسبت متوسط Vp/Vs پوسته در شمال خاور ایران زمین

۹۲	..... ۱.۱.۴ مقدمه
۹۳	..... ۲.۱.۴ مقادیر نسبت متوسط V_p/V_s پوسته در شمال خاور ایران زمین
۹۴	..... ۳.۱.۴ تفسیر زمین‌شناسی نسبت متوسط V_p/V_s پوسته در شمال خاور ایران زمین
۹۵	..... ۲.۴ تفسیر نتایج حاصل از اعماق درون پوسته‌ای و مرز موهو در شمال خاور ایران زمین
۹۵	..... ۱.۲.۴ مقدمه‌ای بر ساختار لایه‌ای (سرعتی) پوسته زمین
۹۷	..... ۲.۲.۴ مقادیر اعماق درون پوسته‌ای و مرز موهو
۹۹	..... ۳.۲.۴ تفسیر زمین‌شناسی اعماق درون پوسته‌ای و موهو
۱۰۲	..... ۴.۲.۴ مباحثی درباره عمق موهو
۱۰۳	..... مراجع
۱۰۷	..... واژه‌نامه فارسی به انگلیسی
۱۱۰	..... واژه‌نامه انگلیسی به فارسی

مقدمه

ایران زمین در بخش میانی کوهزاد آلپ - هیمالیا قرار گرفته است. رژیم تکتونیکی عهد حاضر ایران تحت تأثیر حرکت رو به شمال - شمال خاور صفحه عربی نسبت به صفحه اوراسیا می باشد، به طوری که نیروهای ناشی از این حرکت باعث کوتاه شدگی در مناطق مختلف آن شده است و بر اثر این هم گرایی ایران زمین به یک ناحیه تحت فشار مبدل گردیده است. از این رو زمین لرزه های زیادی در مهم ترین پهنه های ساختاری - رسوبی ایران از قبیل: زاگرس، البرز و کپه داغ رخ داده است. تخمین عمق مرز موهو (مرز بین پوسته و گوشته) و نسبت سرعت موج فشارشی به موج برشی (V_p/V_s) از پارامترهای مهم برای مشخص کردن ساختار پوسته هستند، که با زمین شناسی و زمین ساخت در ارتباط هستند. کوشش های زیادی در چند دهه اخیر برای بدست آوردن ساختار پوسته و عمق موهو انجام شده است. از روش های معمول برای بدست آوردن جزئیات ساختار پوسته و سنگ کره، روش های بازتابی و شکست مرزی هستند. این روش ها به دلیل استفاده از امواج لرزه ای با بسامد بالا قدرت تفکیک عمودی بالائی دارند؛ اما پرهزینه هستند. مدل سازی تابع گیرنده شعاعی P یکی دیگر از روشهای مفید و دقیق برای تعیین جزئیات ساختار پوسته در زیر یک ایستگاه است، که نسبت به روشهای دیگر مزیت-هائی دارد: از جمله، کم بودن فاصله جانبی (تقریباً ۱۰ کیلومتر) بین نقطه تبدیل موج فشارشی (P) به موج برشی (SV) در ناپیوستگی های زیر ایستگاه، دارا بودن عمق نفوذ بالا و ارزان بودن نسبت به روشهای مشابه.

بدین منظور نوشتار پیش رو به بررسی پوسته در منطقه شمال خاور ایران زمین با کمک روش تابع گیرنده شعاعی P می پردازد. این منطقه، پهنه های ساختاری - رسوبی مهمی از قبیل: کپه داغ و بینالود را در بر گرفته است. پهنه رسوبی - ساختاری کپه داغ، شامل رشته کوه های هزارمسجد در شمال خاور ایران است که در یک راستای شمال باختر - جنوب خاور از خاور دریای خزر آغاز و پس از عبور از ترکمنستان و ایران، وارد افغانستان می شود. مرز شمالی این پهنه با فلات توران، منطبق بر گسله عشق آباد است که روند N130 درجه دارد. مرز جنوبی کپه داغ، با رخنمون های بازمانده از تپیس کهن دوم مشخص می شود که در جنوب مشهد برونزد دارند. ضخامت زیاد سنگ های رسوبی دریایی و نبود تکاپوهای آذرین، کپه داغ را پس از زاگرس مناسب ترین حوضه برای تشکیل و تجمع هیدروکربن ساخته است. کشف میدان های عظیم هیدروکربنی در این حوضه، درستی این دیدگاه را نشان می دهد [۱]. پهنه ساختاری - رسوبی بینالود از نگاه جغرافیائی دنباله رشته کوه های البرز است به همین علت گاهی آن را جزء واحد تکتونیکی البرز قرار داده اند. اما پس از شناسائی سنگ های سیلورین و دونین که هم رخساره ناحیه شیرگشت - ازبک کوه واقع در ایران مرکزی می باشد، این اندیشه قوت گرفت که آن را قسمتی از منطقه ایران مرکزی به شمار آورند. به هر حال شباهت هائی با هر دو منطقه دارد هر

چند که بیشتر به ایران مرکزی شبیه است [۱]. بینالود را می‌توان چین‌های حاشیه‌ای ایران مرکزی دانست که در شکل‌گیری آن برخورد دو صفحه ایران و توران و پیامدهای آن نقش اساسی داشته است. پهنه بینالود شامل ساختارهای زمین‌شناسی تیتیس‌کهن دوم است [۱].

شمال خاور ایران از لحاظ لرزه‌خیزی فعال بوده و پس از زاگرس و البرز بیش‌ترین توجه را به خود جلب کرده است، در نتیجه از دیرباز همواره مورد توجه خاص زمین‌شناسان و ژئوفیزیکدانان بوده است، مثلاً مطالعات افشارحرب (از سال‌های ۱۳۴۱ تا ۱۳۷۳)، نوروزی (۱۳۸۶)، صادقی و همکاران (۱۳۸۷)، مقصودی (۱۳۸۸)، طالبی (۱۳۸۹)، محمدی (۱۳۹۰)، متقی (۱۳۹۰) و شبانیان و همکاران (۲۰۰۹).

به‌طور کلی سؤالاتی که در رابطه با این پایان‌نامه می‌توان متصور شد بدین صورت است: (۱) تغییرات متوسط عمق مرز موهو و نسبت V_p/V_s چگونه است؟ (۲) اعماق مرزهای درون‌پوسته‌ای از قبیل: مرز رسوبات - پی - سنگ، مرز منطقه لرزه‌زا - بی‌لرزه و مرز گنراد چقدر است؟ (۳) آیا با محاسبه پارامترهای یاد شده امکان ارائه مدل تکتونیکی برای برخورد قاره‌ای صفحه توران با ورق ایران فراهم است؟

شکل موج امواج حجمی دورلرز نگاشته‌شده توسط ایستگاه‌های سه‌مؤلفه‌ای، دربرگیرنده مشخصات چشمه زمین‌لرزه، مسیر عبور موج در گوشته و ویژگی‌های ساختار پوسته زیر ایستگاه هستند، که می‌توان از آن‌ها برای استخراج ویژگی‌های ساختار پوسته زیر ایستگاه استفاده نمود. تابع گیرنده شعاعی P در واقع سری‌های زمانی هستند که از تحلیل مؤلفه قائم و مؤلفه‌های افقی (شمالی - جنوبی و شرقی - غربی) لرزه‌نگاشت به دست می‌آیند و بیانگر پاسخ نسبی ساختار زمین در زیر ایستگاه هستند. مبنای روش تابع گیرنده شعاعی P آن است که جبهه موج P به ناپیوستگی‌هایی با تباین سرعتی (مثلاً مرز بین پوسته و گوشته) برخورد می‌کند و تحت شرایط مرزی، بخشی از جبهه موج P به موج S عبوری و انعکاسی تبدیل می‌شود. فاز S تبدیلی عبوری، که به صورت Ps نشان داده می‌شود، بعد از موج P مستقیم به ایستگاه می‌رسد (سرعت موج S نسبت به موج P کمتر است). فاز تبدیل یافته مستقیم (Ps) با چندگانه‌های $PpPs$ ، $PpSs$ و $PsPs$ همراه است. محاسبه تابع گیرنده P (تولید شده از اثرات ساختارهای پوسته زیر گیرنده) نیازمند یک ابزار قوی جهت حذف اثرات چشمه زمین‌لرزه، مسیر عبور موج در گوشته و پاسخ لرزه‌نگار است. روش واهمامیخت روشی مؤثر برای جدا کردن ساختار پوسته زیر ایستگاه از سایر اثرات است.

فاز تبدیلی Ps و بازتاب‌های چندگانه ($PpPs$ و $PsPs/PpSs$) حاوی اطلاعات مهمی در مورد ضخامت موهو و نسبت V_p/V_s می‌باشند. دامنه، زمان‌رسید و قطبش فاز تبدیل یافته Ps به ساختار سرعتی موج برشی زیر ایستگاه بستگی دارد. دامنه فاز تبدیلی به تباین سرعت موج برشی در ناپیوستگی بستگی دارد بدین صورت

که اختلاف سرعت بیشتر در مرز ناپیوستگی منجر به دامنه بلندتر برای فاز Ps می‌شود. قطبش مثبت در فاز تبدیلی Ps نمایانگر افزایش سرعت با عمق و قطبش منفی نشان‌دهنده کاهش سرعت با عمق است.

این پایان‌نامه در برگیرنده مراحل مختلف پژوهش، ارائه نتایج و یافته‌های آن می‌باشد که در چهار فصل قصد پاسخ‌گویی به سوالات مطرح شده را دارد.

فصل اول، زمین‌شناسی شمال خاور ایران: این فصل شامل مقدمه‌ای بر موقعیت زمین‌شناسی، تکتونیک فعال و مروری بر مطالعات انجام گرفته در پهنه‌های ساختاری - رسوبی شمال خاوری ایران زمین است.

فصل دوم، مبانی تابع گیرنده P: در این فصل درباره مراحل محاسبه تابع گیرنده شعاعی P، روابط زمان - عمق، پوشش مکانی تابع گیرنده شعاعی P، نحوه تعیین عمق متوسط موهو، نسبت Vp/Vs و چگونگی مهاجرت به عمق توابع گیرنده P بحث شده است.

فصل سوم، داده‌ها و ارائه نتایج: شامل معرفی داده‌ها و نتایج مربوط به ایستگاه‌های مورد بررسی از قبیل نمایش توابع گیرنده محاسبه شده، تعیین متوسط عمق موهو و نسبت Vp/Vs و در پایان نتایج مهاجرت به عمق توابع گیرنده P می‌باشد.

فصل چهارم، تفسیر زمین‌شناسی نتایج: در این فصل به تفسیر نتایج حاصل از نسبت Vp/Vs ، اعماق درون‌پوسته‌ای و عمق مرز موهو پرداخته می‌شود.

در پایان نیز مشخصات کامل منابع مورد استفاده و واژه‌نامه ذکر شده است.

فصل اول

زمین‌شناسی شمال خاور ایران

۱.۱ مقدمه

وقتی مطالعه زمین‌شناسی یک سرزمین مورد نظر باشد، منظور مطالعه پوسته زمین آن به‌ویژه بخش سطحی پوسته و بررسی تغییر و تحولاتی است که در گذر دوران‌های زمین‌شناسی بر اثر فعالیت فازهای مختلف کوه‌زائی و خشکی‌زائی، پسروی‌ها و پیشروی‌های دریائی، همچنین هوازدگی و فرسایش، در سطح آن پدید آمده است. بررسی این پدیده‌ها و سیماهای وابسته به آن به صورت نقشه زمین‌شناسی در اختیار ما قرار می‌گیرد. رخدادهای زمین‌شناسی ایران را وقتی می‌توان دنبال کرد که نخست، وضعیت ابتدایی پوسته ایران و حوادث واقع بر آن را دست کم پس از ساخته‌شدن پوسته سخت اولیه بدانیم. دوم، موقعیت زمین‌شناسی آن را در منطقه و تأثیر متقابلی که این سرزمین در طی دوران‌های زمین‌شناسی نسبت به سرزمین‌های همسایه داشته را به دقت مورد توجه قرار دهیم. بنابراین برای شناخت زمین‌شناسی هر سرزمین باید تاریخ زمین‌شناسی آن را ورق بزیم. ایران‌زمین بخش میانی کوه‌زاد آلپ - هیمالیا است (شکل ۱-۱)، که از خاور اروپا آغاز و پس از گذر از ترکیه، ایران و افغانستان تا تبت ادامه دارد [۳].

گرچه در حال حاضر پوسته ایران‌زمین به ظاهر یک‌پارچه است ولی شواهد گوناگون زمین‌شناختی، به‌ویژه وجود مجموعه‌های افیولیتی در راستای گسله‌های اصلی، که یادآور زمین‌درزهای کهن هستند (سطحی که مکان برخورد را مشخص می‌کند، زمین‌درز نامیده می‌شود. ممکن است بریده‌هایی از سنگ‌کره اقیانوسی که پیش از آن قاره‌ها را از هم جدا می‌کرد و افیولیت نامیده می‌شود، در منطقه زمین‌درز حفظ گردد)، بر کافت‌های درون-قاره‌ای که تا گوشته ادامه داشته‌اند، گواهی می‌دهند (کافت‌ها فرونشستگی‌های درازی‌اند که کل ضخامت سنگ-